



# Quel est l'impact des registres sémiotiques sur l'efficacité d'une séquence d'enseignement sur les gaz pour des élèves de Seconde ?

Damien Givry, Alice Delserieys

## ► To cite this version:

Damien Givry, Alice Delserieys. Quel est l'impact des registres sémiotiques sur l'efficacité d'une séquence d'enseignement sur les gaz pour des élèves de Seconde ?. 2013. hal-00815028

**HAL Id: hal-00815028**

**<https://hal.science/hal-00815028>**

Preprint submitted on 9 May 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial| 4.0 International License

# Quel est l'impact des registres sémiotiques sur l'efficacité d'une séquence d'enseignement sur les gaz pour des élèves de Seconde ?

*Damien Givry et Alice Delserieys; EA 4671 ADEF ; Aix-Marseille Univ.; ENS de Lyon, IFE; 13248, Marseille, France*

## **Résumé :**

Cette recherche s'intéresse à l'importance du langage écrit et des systèmes de signes dans l'apprentissage de concepts scientifiques. Elle propose de montrer que l'efficacité d'un enseignement à propos des gaz sur des élèves de seconde varie en fonction des registres sémiotiques du texte ou du schéma. Notre cadre théorique se situe dans la didactique de la physique et adopte une approche socio-constructiviste utilisant des travaux sur les registres sémiotique. À partir d'un pré et d'un post questionnaire (utilisant simultanément du texte et du schéma) passé auprès d'environ 90 élèves de Seconde, nous avons analysé leurs réponses avec le logiciel Sphynx. Notre analyse est reproductible et l'ensemble de nos résultats sont statistiquement significatifs au test du Khi2. Ils montrent qu'après enseignement les élèves progressent plus et sont beaucoup plus performant : (a) dans le registre du schéma pour utiliser des idées sur l'aspect particulaire et la répartition homogène des gaz et (b) dans le registre des réponses écrites en langage naturel pour mobiliser celles sur l'action du gaz. De plus, il semble qu'il y ait une influence probable entre les registres sémiotiques utilisées pour travailler une notion dans l'enseignement et l'importance de la progression des idées des élèves sur cette notion dans ces mêmes registres sémiotiques.

## **Abstract :**

This research be interested in written language and sign systems in learning scientific concepts. It will show that the effectiveness of teaching about the gas on students varies with semiotic registers, as text or diagram. Our theoretical framework is in physics education and adopts a socio-constructivist approach using work on the semiotic. Based on a pre and post test (using text and diagram) given to 90 students at the upper-secondary school level (Grade 10 [15-year-old students]), we analyzed their responses with the Sphynx software. Our analysis is reproducible and all our results are statistically significant at the Chi2 test. Its show that after teaching students progress more and are much more efficient: (a) in the diagram to use ideas on particle aspect and the uniform distribution of gas and (b) in the written text to mobilize ideas on the action of the gas. Furthermore, it seems that there is a probable influence between semiotic registers used during teaching on a specific concept about gas and the importance of the evolution of students' ideas on this concept in the same semiotic register.

Mots clés : Didactique de la physique, efficacité d'un enseignement, apprentissage, questionnaire, registres sémiotiques.

## **Intro**

Depuis les années 1970, la conceptualisation des connaissances des élèves en termes de *conception* a dominé la recherche en didactique des sciences. Malgré l'utilisation d'approches théoriques assez différentes, ces travaux ont produit un noyau de résultats extrêmement stables, d'un élève à un autre, d'un pays à un autre (du moins dans les pays de culture occidentale), et d'un chercheur à un autre

(Tiberghien et al., 2002). Il existe une énorme bibliographie de travaux de recherche mettant en évidence des conceptions d'élèves qui diffèrent du point de vue standard de la science (Pfundt, H. & Duit, 2013). La plupart de ces études s'accorde sur la persistance de ces conceptions après l'enseignement. Cette forte résistance au changement a amené certains travaux à essayer d'identifier les conditions favorisant l'évolution des conceptions des élèves vers les connaissances scientifiques. Une première étude formalisa quatre conditions (insatisfaisante, intelligible, plausible et fructueuse) nécessaires au changement conceptuel des élèves (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982) (Posner & al. 1982).

Ces conditions se sont révélées rapidement insuffisantes (Strike & Posner, 1992) et durent s'élargir pour incorporer d'autres facteurs, issus de courants théoriques variés comme : la motivation (ex. Pintrich, 1999), l'affective (ex. Zembylas, 2005), la métacognition (Adey, 1999; Gunstone & Mitchell, 1998; White, 1993), les aspects socioculturel (ex. Miyake, 2008; Sinatra & Mason, 2008; Wiser & Smith, 2008), la modélisation (Tiberghien, 2000), la transposition didactique (Chevallard, 1985), l'action conjointe entre l'enseignant et les élèves ((Sensevy & Mercier, 2007), la sémiotique (Kress, Jewitt, Ogborn, & Tsatsarelis, 2001)...

Notre étude s'intéresse plus particulièrement aux aspects sémiotiques pouvant jouer un rôle sur l'efficacité d'une séquence d'enseignement sur les gaz. Elle s'appuie sur des résultats montrant les difficultés des élèves (a) dans l'apprentissage des concepts scientifiques liés au gaz et (b) dans l'utilisation des registres de représentations sémiotiques.

Les idées des élèves concernant l'aspect particulaire, la répartition et l'action d'un gaz sont centrales pour notre recherche. Elles sont issues d'un travail de synthèse plus globale portant sur l'ensemble des difficultés des élèves sur la plupart des concepts associés aux gaz (Auteur, 2003).

De nombreux élèves éprouvent des difficultés pour utiliser les molécules pour décrire les gaz malgré des enseignements sur ce sujet (Chomat, Larcher, & Méheut, 1988; Novick & Nussbaum, 1981; Séré & Moppert, 1989; Séré, 1985). En effet, une étude réalisée sur plus de 600 élèves des États-Unis sur des classes allant du grade 2 (équivalent à notre école primaire) jusqu'à l'université, montre qu'avant le grade 11 (17-18 ans) la majorité des élèves n'utilisent pas le niveau microscopique pour représenter les gaz (Benson, Wittrock, & Baur, 1993). De plus, de nombreux travaux s'accordent sur le fait que certains élèves attribuent des propriétés macroscopiques à des objets microscopiques, par exemple les molécules d'un gaz gonflent quand on le chauffe (Brook, Briggs, & Driver, 1984; Méheut & Chomat, 1990; Méheut, 1994; Novick & Nussbaum, 1978; Séré & Moppert, 1989)

Les élèves ont des problèmes pour représenter les gaz avec une répartition homogène dans plusieurs situations (Chomat et al., 1988; Noh & Scharmann, 1997; Novick & Nussbaum, 1978). Le savoir scientifique de référence considère que les gaz n'ont pas de forme propre, qu'ils sont expansibles et se répartissent de manière homogène dans la totalité du récipient qui les contient. Une étude menée au Venezuela, montre que les trois quarts des étudiants interrogés pensent que la répartition d'un gaz que l'on refroidit ne sera pas homogène (Niaz, 2000). De même, la plupart des élèves Américains avant le grade 12 représentent l'air comme n'étant pas réparti de manière homogène (c'est-à-dire répartie à un endroit spécifique) lorsque l'on vide une bouteille d'air à moitié (Benson et al., 1993). Un grand nombre d'élèves français de 6ème-5ème considèrent que l'air chaud monte (Séré, 1985), ce qui semble favoriser une répartition inhomogène de celui-ci dans le haut des enceintes fermées.

Les élèves ont des difficultés pour considérer que les gaz sans mouvement puissent agir et que cette action puisse se faire dans toutes les directions sur les objets avec lesquels ils se trouvent en contact ((Clough & Driver, 1986; de Berg, 1992; Séré, 1985). Une étude Française (Séré, 1985) réalisée sur des élèves de 6ème-5ème montre que la plupart d'entre eux considère que l'air immobile n'agit pas et que lorsqu'il est en mouvement celui-ci n'agit que dans une direction spécifique qui dépend de la situations : action vers le haut lorsque l'on chauffe un gaz dans une enceinte fermée et action dans la direction du mouvement du piston lorsque le gaz est compressé dans une seringue. Ces résultats semble être confirmer par une étude Anglaise sur les effets de l'air atmosphérique montrant que

pour la plupart des élèves âgés respectivement de 12, 14 et 16 ans, l'air atmosphérique n'agit pas dans la plupart des situations proposées (Clough & Driver, 1986). De plus, il semble que pour les élèves anglais âgés 17-18 ans, l'air enfermé dans une pipette remplie d'eau a des propriétés différentes de celles de l'air libre (De Berg 1992).

Plusieurs recherches ont montré l'importance de la sémiotique : (a) pour analyser les situations d'enseignement-apprentissage (Kress et al., 2001; Vygotski, 1997) et (b) pour comprendre finement certains processus d'apprentissage à travers l'étude des signes (définies comme la plus petite unité de sens) contenu dans le langage oral (Airey & Linder, 2009; Givry & Roth, 2006; Givry & Tiberghien, 2012 ; Kress et al., 2001; Roth & Welzel, 2001; Tang, Tan, & Yeo, 2011) et écrit (Duval, 1995; Lemke, 1990, 1998; Pozzer-Ardenghi & Roth, 2009; Pozzer-Ardenghi, 2009). Les différentes représentations (image, schéma, graphique, équation, texte...) utilisées à l'écrit sont des systèmes sémiotiques permettant d'exprimer les concepts scientifiques. Cependant, les travaux de Duval (1995) en didactique des mathématiques montrent que les manières de décrire un concept à l'écrit à travers différents registres de représentations sémiotiques (texte, équation, graphique, schéma...) ne sont pas toujours équivalentes. En effet, il montre notamment que le taux de réussite des élèves peut varier de plus de 25% entre une tâche n°1 demandant aux élèves de trouver le graphique correspondant à une phrase écrite (ex. "l'ensemble des points qui ont une abscisse positive) et une tâche n°2 demandant de trouver l'équation (ex. " $x > 0$ ") correspondant à ce même graphique (Duval, 1988). Ceci signifie qu'une tâche de conversion entre des registres ne représente pas les mêmes difficultés en fonction des représentations utilisées. Donc, il semblerait que certains registres sémiotiques soient plus facile à appréhender que d'autres pour les élèves.

Partant de ces résultats en didactique des mathématiques, nous discuterons du rôle des registres sémiotiques sur l'efficacité d'une séquence d'enseignement en physique. En nous basant sur une recherche empirique réalisés sur plus de quatre-vingt dix élèves de Seconde d'un établissement public Français, nous proposons de montrer s'il est plus facile pour les élèves d'utiliser les notions d'aspect particulière, de répartition homogène et d'action des gaz à partir d'un texte ou d'un schéma. Les implications de ces travaux pour l'enseignement de la physique sont importantes, car elles devraient permettre aux enseignants de rendre plus efficace l'apprentissage de ces notions grâce à une utilisation plus adaptée aux registres du texte ou du schéma. De plus, les enseignants comme les chercheurs pourront affiner l'évaluation des connaissances des élèves grâce à une meilleure utilisation de ces registres sémiotiques.

## Activité, Sémiotique, Efficacité

### ***Tâche-activité***

Notre recherche se situe dans le champ de la didactique de la physique. Elle s'intéresse à l'efficacité d'un enseignement de physique sur l'apprentissage des élèves. Notre analyse se centrera plus particulièrement sur l'importance du langage et des systèmes de signes dans l'apprentissage de concepts scientifiques.

Notre cadre théorique adopte une approche socio-constructiviste (Leontiev, 1981; Vygotski, 1997) et utilise des outils provenant de la sémiotique (Duval, 1995; Givry & Tiberghien, 2012).

De manière générale, cette approche considère l'apprentissage comme une activité socialement situées (Lave & Wenger, 1991). Dans laquelle, la médiation, (c'est-à-dire les actions utilisant le langage et de manière plus générale les systèmes de signes) joue un rôle prépondérant (Vygostki, 1997). Notre travail s'appuie sur des travaux (Leontiev, 1981; Leplat & Hoc, 1983; Rogalski, 2008) faisant la distinction entre **tâche** (ce qui est à faire) et **activité** (ce qu'une personne fait). Cette distinction, nous semble pertinente pour analyser l'efficacité d'un enseignement (c'est-à-dire une tâche, composé de nombreuses sous-tâches) sur l'apprentissage des élèves (à partir des actions qui compose cette activité ou à partir d'éléments déterminants de cette activité)

Comme le définit Leontiev (1981, p118) "La tâche c'est le but donné dans des conditions déterminées". Dès que la situation est quelque peu complexe (comme par exemple l'enseignement des concepts servant à décrire l'état d'un gaz), le but à atteindre s'organise en différents sous-buts, et la tâche peut être décomposé en sous-tâches (Rogalski 2008). L'analyse de chaque sous-tâche nécessite de préciser le but donné et les conditions qui vont la contraindre, notamment : (a) les concepts physique mis en jeu (b) les consignes données aux élèves (c) les systèmes de signes utilisés dans cette sous-tâche et (d) le matériel disponible (expérimental, texte du modèle, simulateur...) (Givry, 2003).

Une activité est dirigé vers un objet (transformation de l'environnement au sens le plus large du terme). Cet objet est réalisé grâce aux actions des individus, qui visent à atteindre des buts. En d'autres termes : "Les « composantes » essentielles des activités humaines sont les actions qui les réalisent" (Leontiev, 1981, p.113). Ces actions à leur tour sont réalisées au moyen d'opérations routinières qui dépendent des conditions dans lesquelles l'action se déroule.

### **Action, idée, registre sémiotique**

Notre étude s'intéresse plus particulièrement aux actions pouvant servir à la la médiation des concepts scientifiques à travers différents systèmes de signes au cours de situations d'enseignement-apprentissage (Vygostki, 1997). Néanmoins, notre recherche n'étudiera pas directement l'activité des élèves durant l'enseignement, mais se centrera sur les effets de cette activité sur l'apprentissage. Nous observerons à partir de questionnaire (considéré comme des traces de l'activité) les effets de la médiation du savoir à partir plusieurs registres sémiotiques sur l'évolution des idées des élèves en classe.

Nous reconstruisons les idées d'une personne à partir de l'ensemble des actions qui sont porteuses de sens (sémiotique). Pour cela, nous définissons une "idée" comme étant la reconstruction par un chercheur du sens exprimé par une personne dans une situation spécifique à partir des ressources sémiotiques contenues dans ses actions intervenant lors de la communication orale et écrite (Givry & Tiberghien, 2012). Cette reconstruction nécessite dans un premier temps d'adopter le point de vue de l'individu sans porter de jugement par rapport au point de vue de la physique. Notre étude se focalisera sur les idées des élèves exprimées à travers différents systèmes sémiotiques relevant du langage écrit et plus particulièrement sur l'influence de ces registres sémiotiques sur l'apprentissage de certains concepts de la physique suite à un enseignement sur les gaz.

Une des spécificités des disciplines scientifiques est de faire appel à différents systèmes sémiotiques (langage naturel, formule, graphique, dessin...) pour représenter les concepts. Selon Duval (1995), ces systèmes sémiotiques doivent permettre d'accomplir trois activités cognitives inhérentes à toute représentation : "Tout d'abord, constituer une trace ou un assemblage de traces perceptibles, qui soient identifiables comme *une représentation de quelque chose* dans un système déterminé. Ensuite, transformer les représentations par les seules règles propres au système de façon à obtenir d'autres représentations pouvant constituer un apport de connaissance par rapport aux représentations initiales. Enfin, convertir les représentations produites dans un système en représentations d'un autre système de telle façon que ces dernières permettent d'expliciter d'autres significations relatives à ce qui est représenté." (Duval, 1995, p. 21). Tout système sémiotique permettant ces trois activités est appelé *registre de représentation sémiotique* ou plus simplement *registre sémiotique*.

Chaque registre permet de mettre en oeuvre des aspects différents d'un même concept et la compréhension d'un concept passe par la mise en relation des différents registres sémiotiques qui le représentent. Voici une représentation du concept de pression exprimé dans différents registres sémiotiques (Figure 1) :


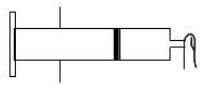
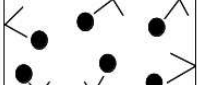
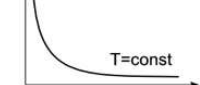
Photographie	Dessin	Schéma	Graphique	Équation	Langue Naturelle
				$P.V = n.R.T$	"La pression augmente lorsque le volume de la seringue diminue"

Figure 1: Concept de pression représenté dans différents registres sémiotiques

Pour des raisons de simplicité, nous adoptons la terminologie proposés par Pozzer-Ardenghi (2009) pour décrire les différents registres sémiotiques, appelés : photographie, dessin, schéma, graphique, équation et langage naturelle (pour le registre de l'écrit). Si l'on fait abstraction du langage naturelle (pouvant faire une description en se plaçant à des degrés d'abstractions différents), la figure 2 présente un continuum (Pozzer-Ardenghi, 2009) entre les registres sémiotiques allant des représentations les plus concrètes (photographie, schéma) vers celles qui sont les plus abstraites (graphique, équation). Il est important de remarquer que chacun de ces registres met en évidence des propriétés différentes du concept de pression. Cet exemple nous amène à considérer que la compréhension d'un concept physique nécessite, d'une part d'être capable de représenter un concept dans différents registres sémiotiques et d'autre part de pouvoir mettre en relation les différentes représentations de ce concept (Duval, 1995). Notre séquence d'enseignement sur les gaz utilise majoritairement les registres sémiotiques du texte et du schéma. On trouve aussi quelques sous-tâches utilisant le registre des équations. C'est pourquoi, nous avons fait le choix de focaliser notre étude sur l'impact des registres sémiotiques du schéma et celui de la langue naturelle dans l'efficacité de la séquence d'enseignement.

## Efficacité

Un certain nombre de travaux issus des sciences de l'éducation se sont intéressés à l'efficacité d'un enseignement (Cusset, 2011; Dumay & Dupriez, 2009; Feyfant, 2011; Pustjens et al., 2009).

L'étude de l'efficacité peut se faire à différents niveaux (Cusset, 2011) : (1) d'un élève, (2) de la classe, (3) d'un ou plusieurs enseignants ou (4) de l'établissement. Notre recherche s'intéresse à l'efficacité d'un enseignement à travers sa mise en œuvre par plusieurs enseignants.

Comme le précise Feyfant (2011), on peut étudier l'efficacité à travers : (a) l'effet "brut", c'est à dire en évaluant les performances des élèves à la fin d'un enseignement ou (b) l'effet "net" (ou à valeur ajoutée), correspondant à l'évaluation de la progression des élèves en comparant les performances avant l'enseignement (connaissances antérieures) et avec celles après.

Dans notre étude, nous évaluerons l'efficacité de l'enseignement à faire utiliser certains concepts par les élèves dans les registres sémiotiques du schéma et celui de la langue naturelle. Pour chaque concept, nous analyserons la performance après l'enseignement, puis la progression. Il est important de préciser que l'efficacité en terme de performance peut être quantifiée. Dans notre cas nous estimons qu'un enseignement ou plus spécifiquement qu'une sous-tâche est efficace lorsque plus de 50% des élèves d'une classe ont atteint le but fixé. Concernant la progression, nous parlerons d'efficacité lorsqu'il y a une progression statistiquement significative.

Pour conclure, nous proposons d'étudier l'efficacité d'un enseignement sur les gaz en comparant la performance, ainsi que la progression des élèves pour utiliser certains concepts dans le registre sémiotique du schéma et celui du langage naturel.

## Question de recherche

Le but de notre étude est d'analyser le rôle de certains registres sémiotiques sur l'efficacité d'un enseignement sur les gaz. En nous basant sur des résultats empiriques obtenus à partir de l'analyse de questionnaires donnés à des élèves de Seconde, nous essaierons de répondre aux questions :

(I) Est-ce que les registres sémiotiques du schéma et de la langue naturelle sont équivalents pour

l'efficacité d'un enseignement sur les gaz ? (II) Est-ce que l'un de ces registres permet aux élèves d'être plus performant pour exprimer les idées à propos de : (a) l'aspect particulière des gaz, (b) sa répartition et (c) son action ? (III) Est-ce que les registres sémiotiques des sous-tâches proposés par l'enseignement influence la progression des idées des élèves ?

## Méthodologie

Notre étude propose d'analyser l'efficacité de la séquence d'enseignement sur des élèves de Seconde à partir d'un questionnaire. Elle s'inscrit dans une recherche plus globale sur l'évolution des idées des élèves à partir d'une collection de données beaucoup plus complète : questionnaires, entretiens, vidéos de classe et traces écrites (Givry, 2003).

### Contexte scolaire et participants

Le groupe de recherche est développement SESAMES a élaboré un grand nombre de séquences d'enseignements en physique et en chimie<sup>1</sup> (Tiberghien, Vince, & Gaidioz, 2009). Chacune de ces séquences adopte une approche socio-constructiviste accordant une place privilégiée aux trois approches théoriques : l'activité de modélisation (Tiberghien, 1994), les registres sémiotiques (Duval, 1995) et le connaissances préalables des élèves sur les gaz (voir ci-dessus). L'équipe SESAMES qui a élaborée l'enseignement sur les gaz était composée de six enseignants de lycée et de trois chercheurs en didactique de la physique (dont le premier auteur).

Cette séquence était conforme au programme de Seconde (Bulletin Officiel, 1999) et a été conçu pour une durée de trois semaines (3 TP d'une heure et demie et 3 cours en classe entière d'une heure). Il est important de signaler que les trois aspects des gaz que nous avons choisi d'étudier (aspect particulière des gaz , répartition homogène et actions d'un gaz) sont toujours en vigueur dans les nouveaux programmes (Bulletin Officiel, 2010).

Pour tester l'efficacité d'une séquence d'enseignement sur les gaz, nous avons fait le choix d'étudier trois classes de Seconde ayant suivies quasiment le même enseignement. Pour cela, nous avons choisi deux enseignants "chevronnés" ayant participé entièrement à l'élaboration de la séquence d'enseignement sur les gaz.

### Analyse de la séquence d'enseignement sur les gaz

Le but de la séquence d'enseignement sur les gaz<sup>2</sup> est de permettre aux élèves de décrire et d'expliquer le comportement des gaz à partir des grandeurs macroscopiques (pression, température, volume, quantité de matière) et de leurs interprétations au niveau microscopique. Elle se compose de deux parties. La première partie vise à introduire un modèle microscopique pour décrire le comportement d'un gaz contenu dans une enceinte fermée, ainsi que le mélange de deux gaz. La seconde partie propose à travers des situations de compression et de chauffage : (1) d'introduire un modèle macroscopique pour décrire l'état d'un gaz à l'aide des grandeurs pression, force pressante, température, volume, quantité de matière, (2) de faire établir des liens entre grandeurs macroscopiques et interprétations microscopiques, par exemple : (a) pression et chocs des molécules sur une paroi et (b) température et vitesse des molécules et (3) d'établir des relations entre les grandeurs macroscopiques, particulièrement entre pression et volume, ainsi que pression et température pour aboutir à la loi des gaz parfait  $P.V = n.R.T$ .

À partir de notre définition d'une sous-tâche (voir cadre théorique), nous avons identifier 52 sous-tâches pour l'ensemble des deux parties de la séquence d'enseignement sur les gaz. Notre analyse montre que parmi ces sous-tâches : 29 relèvent du registre sémiotique du langage naturel, 20

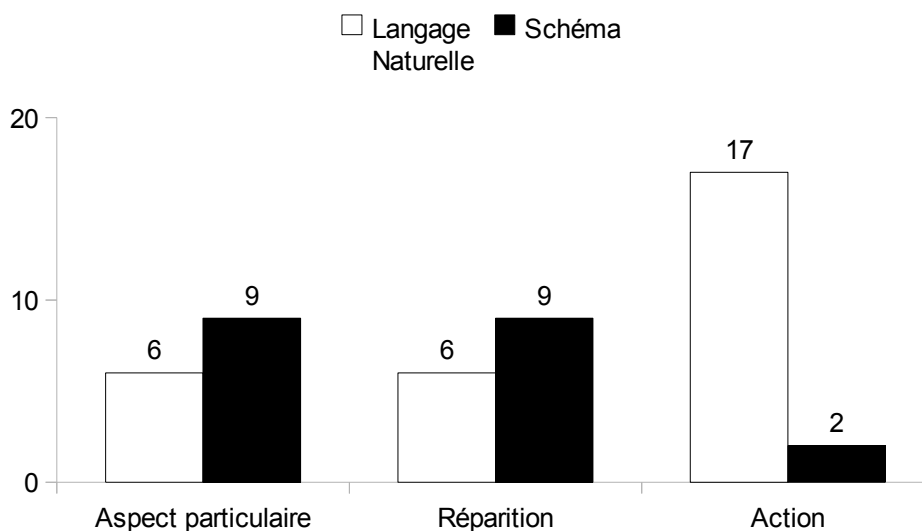
---

1 Les séquences d'enseignements sont téléchargeables à l'adresse suivante : <http://pegase.ens-lyon.fr/>

2 L'enseignement sur les gaz est téléchargeable à l'adresse suivante :  
[http://pegase.ens-lyon.fr/theme.php?rubrique=1&id\\_theme=8](http://pegase.ens-lyon.fr/theme.php?rubrique=1&id_theme=8)

mobilisent le registre du schéma et seulement 3 font appel à celui des équations. Le registre de la langue naturelle est beaucoup plus mobilisé que le schéma ou les équations dans la séquence d'enseignement. Cependant, cette analyse doit être affinée en fonction des buts des trois aspects des gaz que nous souhaitons étudier aspect particulière, répartition homogène et action (voir graphique 1).

Nombre de sous-tâche pour chaque registre sémiotique



1. Graphique 1 : Nombre de sous-tâche utilisant les registres de la langue naturelle et du schéma en fonction de 3 aspects des gaz : aspect particulière, répartition homogène et action du gaz

Le graphique montre que l'aspect particulière d'un gaz, ainsi que la répartition sont mobilisés dans 6 sous-tâches utilisant le registre de la langue naturelle et 9 sous-tâches relevant du registre de schéma. Le fait qu'un gaz puisse agir est utilisé dans 17 sous-tâches relevant du registre du langage naturel et dans seulement 2 sous-tâches du registre du schéma. L'aspect particulière (9 sous-tâches) et la répartition homogène (9 sous-tâches) sont plus mobilisés dans le registre du schéma (contre 6 sous-tâches pour le langage naturel) et l'action du gaz est beaucoup plus sollicité dans celui de la langue naturelle (17 sous-tâches). Par conséquent, cela devrait favoriser une progression plus importante des idées utilisant : (a) l'aspect particulière et la répartition homogène dans le registre du schéma et (b) l'action du gaz dans le registre de la langue naturelle.

## Élaboration d'un questionnaire

Nous avons élaboré notre questionnaire en le limitant à 19 questions, afin qu'il puisse être rempli en moins de trente minutes. Chaque question utilise des situations de la vie quotidienne, laissant ainsi le choix aux élèves de mobiliser spontanément des connaissances proche de la physique ou bien du quotidien pour décrire les propriétés des gaz. L'élaboration du questionnaire s'est appuyé sur plusieurs travaux antérieurs en didactique de la physique (particulièrement Benson et al., 1993; Chomat et al., 1988; Méheut & Chomat, 1990; Séré, 1985; Stavy, 1988; Vince & Tiberghien, 2000). Nous avons construit des situations utilisant les objets quotidiens suivants : un ballon de foot gonflé, une pompe à vélo, un ballon de baudruche dégonflé posé sur une bouteille en fer, deux balles de ping-pong cabossées, quatre ballons de baudruche contenant des gaz différents et un verre rempli de boisson gazeuse. À l'exception du verre de soda, tous les objets sont des enceintes fermées contenant du gaz se rapprochant des situations enseignées dans la séquence d'enseignement sur les gaz.



Dans cette étude, nous traiterons uniquement les questions permettant simultanément de répondre à l'écrit et sur des schémas. Cela représente 10 questions du questionnaire faisant appelle à 4 situations quotidiennes : un ballon de foot que l'on dégonfle, un ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe, une pompe à vélo et quatre ballons de baudruche remplis de gaz différents. Dans chaque situation, nous avons laissé la possibilité aux élèves d'exprimer (ou pas) leurs idées sur les trois aspects des gaz suivants : (a) l'aspect particulaire des gaz en laissant la possibilité aux élèves de répondre à chaque question en se plaçant librement au niveau macroscopique ou microscopique, (b) la répartition homogène des gaz en ne faisant aucune référence explicite celle-ci dans les questions écrites et sur schémas et (c) l'action des gaz en formulant des questions ne faisant pas directement référence à cette idée. Précisons que des travaux ont montré que pour certains élèves l'air n'agit que lorsqu'il est en mouvement (Séré, 1985). Par conséquent, les situations avec des événements sur les objets vont favoriser la mobilisation de l'action des gaz (c'est le cas lorsqu'on : appuie sur le piston d'une pompe à vélo fermée, diminue la quantité d'air dans un ballon de foot que l'on dégonfle, chauffe une bouteille en fer avec un ballon de baudruche posé dessus) et que les autres (quatre ballons de baudruche et pompe à vélo bouchée) auront tendance à ne pas favoriser cette idée. Cependant dans chacune des situations, les questions laissent le choix de mobiliser (ou non) l'action des gaz à l'écrit ou sur des schémas.

## **Recueil des données**

Nous avons recueilli différents types données pour avoir une vision la plus complète de l'efficacité de la séquence d'enseignement sur les gaz (Auteur, 2003). En tout, nos données se composent de : (a) 181 questionnaires, (b) 8 heures d'entretien filmé avant et après l'enseignement concernant 8 élèves, (c) 48 heures de vidéo de l'enseignement sur les gaz en classe avec les mêmes 8 élèves et (d) approximativement 80 feuilles de cours.

Les données concernant notre recherche se limitent aux 181 questionnaires passés dans trois classes de Seconde. En tout, nous avons interrogé 95 élèves avant l'enseignement et 86 élèves après. La différence du nombre d'élèves provient de l'absence de certains d'entre eux. Chaque questionnaire a été rempli de manière anonyme pendant trente minutes. Nous avons choisi l'anonymat pour favoriser les réponses les plus libres possibles. Cependant, un numéro a été attribué à chacun des élèves, afin de pouvoir suivre précisément leur évolution. Les élèves savaient que le questionnaire ne serait pas noté et que toutes leurs justifications étaient importantes.

Concernant le recueil des données, nous avons fait le choix méthodologique de donner le même questionnaire avant et après l'enseignement. En effet, le fait de changer les situations du questionnaire, en modifiant les énoncés ou les situations matérielles pour les rendre équivalentes aux anciennes, risque fort de notre point de vue d'introduire de nouveaux effets non maîtrisés sur les élèves. Ceci risque de nous faire tester l'adaptation des élèves à de nouvelles situations, plutôt que de nous faire étudier l'évolution des réponses des élèves à la suite de l'enseignement.

## **Analyse des données**

Notre codage qualitatif en catégories à partir d'observables est statistiquement reproductible par le même analyste. En effet, nous avons analysé les questionnaires recueillis en 2001, lors d'un précédent travail de recherche (Auteur, 2003). Les réponses des élèves avaient été catégorisées à partir d'observables puis analysées à l'aide d'un tableur classique. Pour cet article, nous avons utilisé le logiciel SPHYNX pour coder une nouvelle fois à partir des mêmes observables l'ensemble des réponses des élèves dans le but de faire cette fois-ci une analyse statistique plus poussée. Le premier auteur a réalisé deux fois la même analyse à des moments dans le temps différents. Nous avons fait un test statistique du  $\kappa$  (kappa), qui mesure l'accord entre des observateurs lors d'un codage qualitatif en catégories. Pour l'ensemble des questions analysées, le test de cohen's KAPPA indique  $\kappa = 0,84$ , ce qui correspond au meilleur accord (niveau excellent) entre les deux analyses.

Ceci signifie que nous avons reproduit notre analyse avec un niveau d'accord statistiquement excellent pour le même analyste.

De plus, l'ensemble des résultats que nous présentons sur les variables Texte et Schéma sont statistiquement significatifs au regard du test d'ajustement du Khi2 par rapport à une loi d'équiprobabilité. Globalement, le Khi2 peut-être utilisé pour réaliser soit un test : (a) d'ajustement, (b) d'indépendance de 2 variables ou (c) d'homogénéité d'échantillons. Pour valider statistiquement nos résultats, nous avons choisi d'utiliser le test d'ajustement pour comparer la distribution observée des réponses des élèves avec une loi d'équiprobabilité (correspondant au fait que les élèves auraient répondu aux questions de manière aléatoire).

## Résultats

Nous présentons nos résultats sous forme d'hypothèses de travail que nous allons tester sur l'aspect particulière du gaz, sa répartition homogène et son action :

H0 : "les performances des élèves pour exprimer leurs idées varient en fonction du registre sémiotique utilisé"

H1 : "l'efficacité d'un enseignement sur l'utilisation des idées des élèves varie en fonction du registre sémiotique utilisé"

H2 : "l'efficacité d'un enseignement sur la progression des idées des élèves varie en fonction du registre sémiotique utilisé"

H3 : "la progression des idées des élèves est liée aux registres sémiotiques mobilisés dans les sous-tâches de la séquence d'enseignement"

### Résultats 1 : Aspect particulière

Un des objectifs de la séquence d'enseignement sur les gaz est l'appropriation par les élèves du modèle microscopique des gaz. Cependant, un grand nombre de travaux didactiques sur des élèves allant du collège jusqu'à l'université et menés dans différents pays, montre que l'acquisition du modèle microscopique n'est pas évidente pour les élèves et que son utilisation n'est pas forcément faite de manière spontanée dans la plupart des situations (Novick et Nussbaum 1981 ; Chomat, Larcher & Méheut 1988 ; Stavy 1988 ; Méheut & Chomat 1990 ; Benson et al. 1993). C'est pourquoi, nous avons étudié comment ce modèle était réutilisé par les élèves à la suite de l'enseignement dans 4 situations proche de la vie quotidienne : un ballon de foot qui se dégonfle, on appuie sur le piston d'une pompe à vélo, on chauffe une bouteille en fer avec un ballon de baudruche et 4 ballons de baudruches remplis de gaz différents. Pour cela, nous avons essayé de déterminer à quel niveau (macroscopique ou microscopique) se situent leurs explications. Rappelons, que nos questions demandent des explications écrites en langue naturelle ainsi que sur des schémas.

### Quatre catégories de réponse des élèves

Nous avons regroupé dans la catégorie **microscopique** toutes les explications faisant appel aux mots *molécules*, *atomes* ou *particules*. En effet, nous considérons : que ces trois mots sont issus du vocabulaire scientifique et qu'ils font explicitement référence aux éléments se trouvant à l'échelle microscopique. Nous donnons à titre d'exemple quelques explications d'élèves telles quelles (sans correction de l'orthographe, afin de limiter les risques de sur-interprétation) : "*car des molécules d'air sont partie du ballon*", "*le gaz est composé de plusieurs particules*" et "*les molécules tapent sur les parois*". "*Les molécules ds le ballon sont moins condensée et il y en a moins*".

De même, nous avons considéré que les dessins représentant les gaz avec des entités séparées discontinues (point, croix, rond...) relevaient du niveau microscopique. En effet, le caractère discontinu des gaz n'est pas perceptible, c'est pourquoi nous inférons que ce type de représentation

relève du niveau microscopique. Voici à titre d'exemple, quelques représentations d'élèves que nous considérons comme relevant du niveau microscopique (figure 2) :

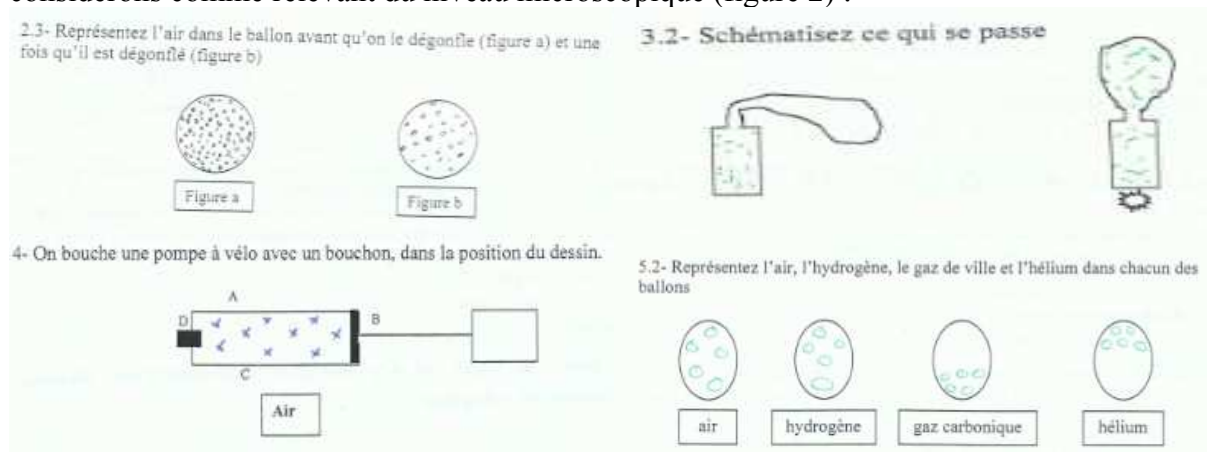


Figure 2: Dessin d'élèves relevant du niveau microscopique

la catégorie **macroscopique** regroupe toutes les explications n'utilisant pas les mots *molécules*, *atomes* ou *particules*, mais avec des termes relevant du niveau macroscopique, comme : *air*, *gaz*, *hélium*, *hydrogène*, *gaz carbonique*, *pression*... En effet, nous considérons que ces termes en l'absence d'éléments microscopique relèvent exclusivement du niveau macroscopique. Voici à titre d'exemple quelques explications d'élèves (sans correction orthographique) : *"le ballon contient moins d'air, il y a donc moins de pression à l'intérieur, le ballon devient moins dur"*, *"l'air est omniprésent et agit avec la même force sur toutes les parois"*, *"un gaz est dégagé par la chaleur et gonfle le ballon"*, *"l'air fait moins pression sur les parois du ballon"*.

De même, nous considérons comme relevant du niveau macroscopique tous les schémas représentant les gaz par une surface continue (figure 3).

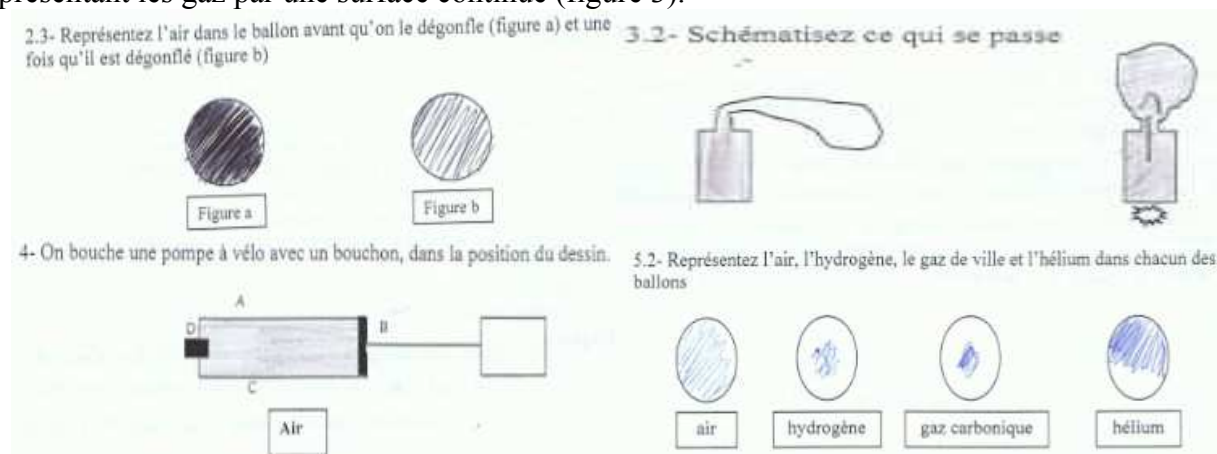


Figure 3: Illustration de schémas catégorisés comme relevant du niveau macroscopique

La catégorie **Autre** concerne : (a) l'ensemble des réponses des élèves ne permettant pas de situer à une échelle (macroscopique ou microscopique) particulière, par exemple : *"oui, il devient plus dur"*, *"un va exploser"*, *"puisque'on a pas appuyé sur la pompe"*, *"ils vont reprendre la forme initiale"* ; ainsi que (b) les réponses ne répondant pas aux questions : *"je sais pas trop pourquoi (désolé)"*, *"c'est comme ça"*, *"allez l'O.L."*, *"bonne chance pour ta recherche"*, *"parce que c'est logique"*...

De la même manière, nous avons regroupé dans cette catégorie **Autre** : (a) les schémas qui ne permettent pas de se situer au niveau macroscopique (surface continue) ou microscopique (entités discontinues), ainsi que (b) ceux ne répondant pas aux questions (figure 4) :

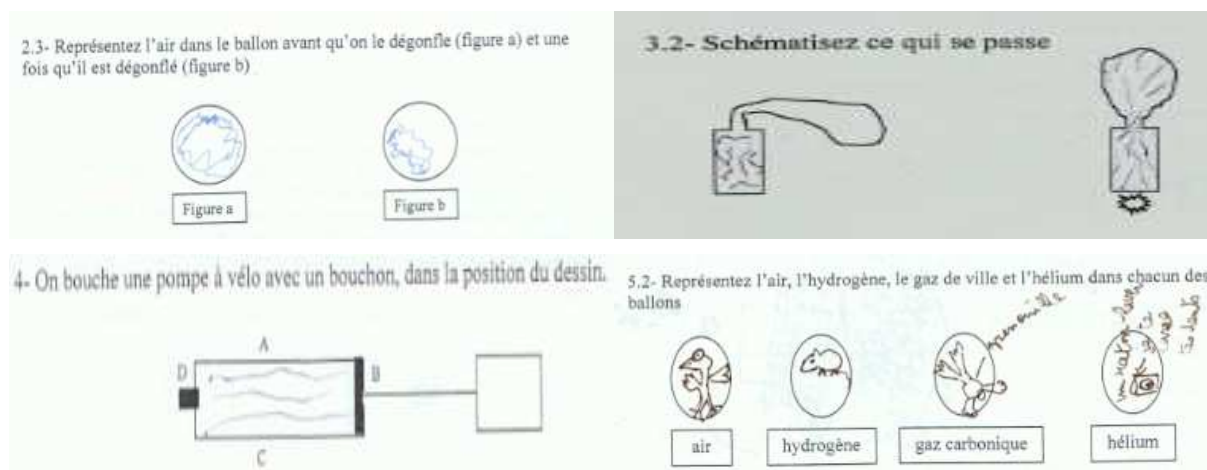


Figure 4 : exemples de schémas classés dans la catégorie **Autre**

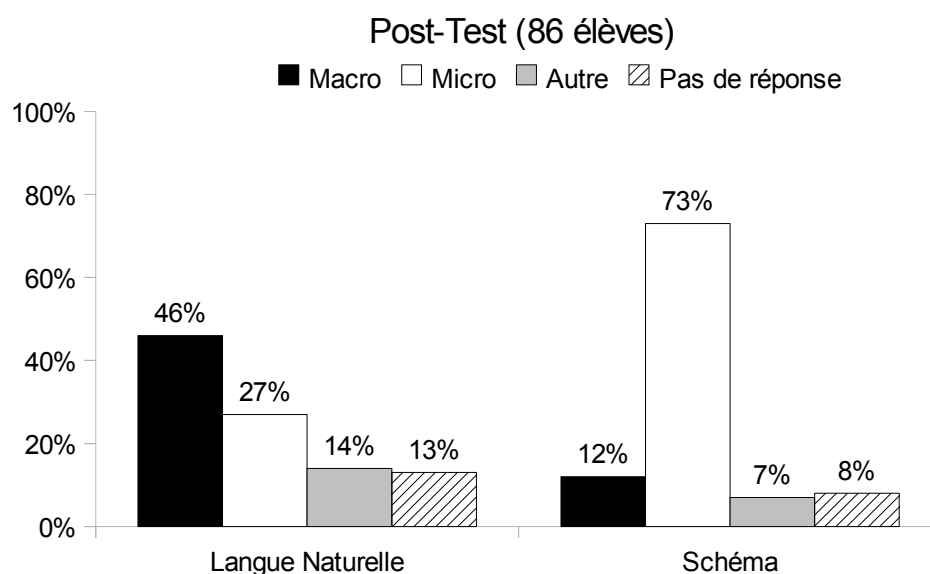
Enfin la catégorie **Pas de réponse** correspond à l'absence totale de réponse écrite ou de schéma.

Nous avons analysé pour chacune des questions, à quel niveau se situaient les réponses des élèves avant et après la séquence d'enseignement sur les gaz.

### Meilleure performance des élèves dans le registre des schémas

Nous proposons de montrer qu'il y a beaucoup plus de réponses d'élèves après l'enseignement, qui utilisent les molécules dans le registre sémiotique du schéma que dans celui de la langue naturelle.

Pour cela, nous avons analysé à quel niveau (macroscopique ou microscopique) se situait les réponses des élèves aux questions des 4 situations du questionnaire. Nous avons dans un premier temps calculer la moyenne des réponses des élèves aux questions relevant du registre de la langue naturelle, puis du registre du schéma. Nous présentons le pourcentage des réponses pour chacun des registres sémiotiques des 86 élèves de 3 classes de Seconde ayant répondu au questionnaire après la séquence d'enseignement sur les gaz (graphique 2).



*Graphique 2 : Pourcentage des réponses des 86 élèves après l'enseignement pour le registre de la langue naturelle ( $p < .0000002$  Khi2(3, N = 86) = 24,42) et celui du Schéma ( $p \leq 0$  Khi2 (3, N = 86) = 106,16)*

Le graphique 2 donne en ordonnée le pourcentage des réponses des 86 élèves pour chacune de nos 4 catégories (macroscopique, microscopique, autre, pas de réponse) en fonction des registres sémiotique de la langue naturelle et du schéma. Comme le montre, nos tests d'ajustement du Khi2 à une loi d'équiprobabilité, nos résultats sont statistiquement très significatifs.

Le graphique montre que 73% (bâtonnet blanc) des réponses réalisées dans le registre du schéma relèvent du niveau microscopique (entités séparées discontinues), alors que seulement 27% (bâtonnet blanc) des explications des élèves en langue naturelle font référence à l'aspect particulaire des gaz en utilisant des mots comme "molécules", "particules", "atomes".

Ce résultat est assez surprenant, car a priori les élèves pouvaient utiliser les molécules aussi bien dans leurs réponses écrites que sur leurs schémas.

Ce résultat montre un écart de 46 % entre les deux registres sémiotiques. Ce qui confirme notre hypothèse H0 : "les performances des élèves pour exprimer leurs idées varient en fonction du registre sémiotique utilisé".

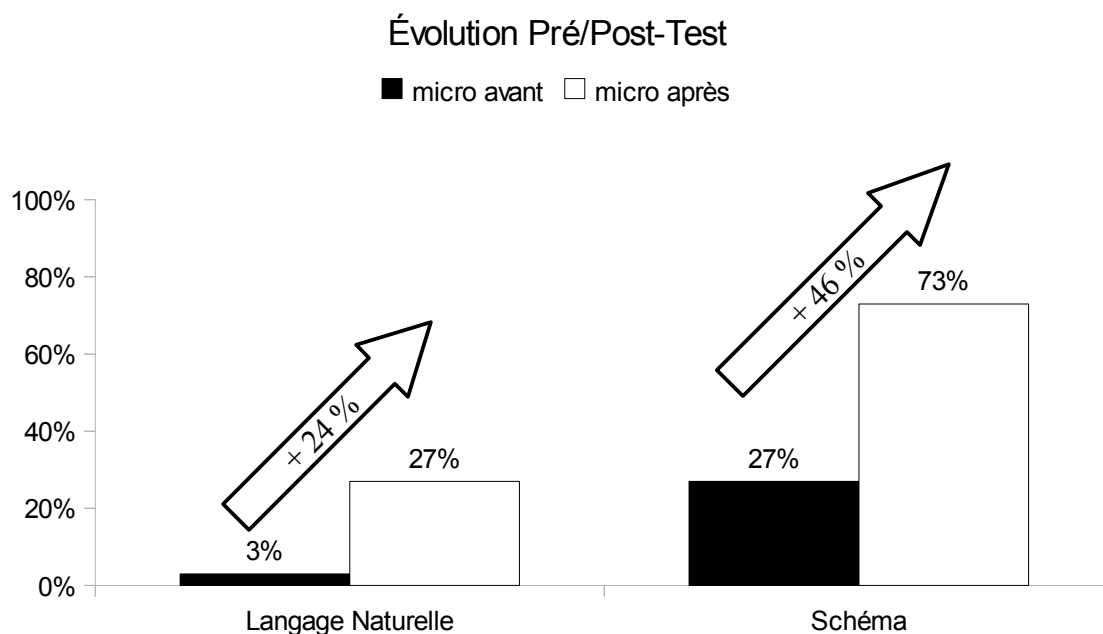
Nous considérons arbitrairement qu'un enseignement est efficace lorsque plus 50% des élèves ont atteint un but donné après l'enseignement. Dans notre cas ce but était que les élèves s'approprient le modèle microscopique des gaz, ce qui nécessite à minima de faire référence aux entités microscopiques dans leurs explications. Nous pouvons voir que l'enseignement est efficace pour que les élèves utilisent des idées relevant du niveau microscopique dans le registre du schéma (73% > 50%), mais pas dans le registre de la langue naturelle (27% < 50%). Ceci confirme notre hypothèse H1 : "l'efficacité d'un enseignement sur l'utilisation des idées des élèves varie en fonction du registre sémiotique utilisé".

Il est intéressant de remarquer que dans le registre de la langue naturelle, 46% des explications des élèves se situent au niveau macroscopique, ce qui est presque 2 fois plus que le nombre de réponses au niveau microscopique. Suite à l'enseignement, il semblerait que la plus grande partie des réponses utilisant : (a) le registre du langage naturel se situe au niveau macroscopique et (b) celui des schémas se situe au niveau microscopique.

En conclusion, nos hypothèses H0, H1 sont validées pour les idées des 86 élèves concernant l'aspect particulaire d'un gaz avec 73% des réponses réalisées dans le registre du schéma relèvent du niveau microscopique contre seulement 27% pour le registre de la langue naturelle.

### ***Meilleure progression dans le registre du schéma.***

Nous avons vu la performance brute des élèves pour utiliser les molécules suite à l'enseignement sur les gaz. Cependant, il est intéressant d'analyser l'efficacité d'un enseignement en terme de progression. C'est-à-dire de comparer le nombre de réponses des élèves avant et après la séquence d'enseignement sur les gaz. Le graphique 3 présente l'évolution du pourcentage des réponses des élèves se situant au niveau microscopique dans les deux registres sémiotiques avant et après l'enseignement.



2. *Graphique 3 : l'évolution du pourcentage des réponses des élèves se situant au niveau microscopique dans les deux registres sémiotiques avant et après l'enseignement.*

Le graphique montre l'évolution entre avant et après l'enseignement des idées des élèves se situant au niveau microscopique dans le registre du langage naturelle et celui du schéma.

Le registre sémiotique du schéma montre une augmentation de + 46% des idées des élèves se situant au niveau microscopique. En effet, nous pouvons voir que 27 % des schémas utilisent l'aspect particulaire des gaz avant l'enseignement contre 73% après la séquence sur les gaz.

Le registre du langage naturelle indique une évolution de + 24% pour les idées des élèves utilisant entités microscopiques. les explications des élèves se situant au niveau microscopique passent de 3% avant l'enseignement à 27% après la séquence.

Les idées des élèves sur l'aspect particulaire des gaz progressent beaucoup plus dans le registre du schéma (+46%) que dans celui de la langue naturelle (+24%). Ceci valide notre hypothèse H2 : "l'efficacité d'un enseignement sur la progression des idées des élèves varie en fonction du registre sémiotique utilisé".

Nous avons cherché les éléments de la séquence d'enseignement pouvant éventuellement favoriser la différence d'évolution entre les registres sémiotiques. Le modèle microscopique distribué aux élèves durant l'enseignement ne semble pas favoriser l'utilisation du registre sémiotique du schéma. En effet, le texte du modèle microscopique se compose de 12 phrases rédigées en langage naturel décrivant les propriétés des molécules. Il n'utilise aucune représentation provenant du registre du schéma. Cependant, l'analyse des 52 sous-tâches de la séquence d'enseignement montre que 15 d'entre-elles ont pour but la description des gaz à l'échelle microscopique (voir l'analyse de la séquence dans la méthodologie). Parmi ces sous-tâches, 6 utilisent le registre sémiotique de la langue naturelle et 9 font appelle au registre des schémas. D'un point de vue plus qualitatif les sous-tâches utilisant les schémas demandent de représenter les gaz avec des molécules, alors que les questions en langue naturelle sont plus dans l'interprétation des phénomènes à partir des propriétés des molécules. Par conséquent la représentation d'un gaz à l'échelle microscopique est essentiellement travaillée dans le registre du schéma, ce qui pourrait expliqué pourquoi il y a une meilleur progression dans ce registre que dans l'autre. De plus, la représentation sur un schéma de

molécules donne automatiquement des informations supplémentaires sur le nombre et la répartition (nommés unités signifiantes par Duval, 1995) qui n'apparaissent pas dans le terme "les molécules" en langage naturelle.

La plupart des sous-tâches introduisant une représentation microscopique des gaz s'est fait dans le registre des schémas. Cela pourrait expliquer en partie pourquoi les idées des élèves progressent plus dans ce registre. Ces différents éléments tendent à favoriser l'hypothèse H3 : "la progression des idées des élèves est liée aux registres sémiotiques mobilisés dans les sous-tâches de la séquence d'enseignement", sans pouvoir clairement la valider. Bien entendu cette tendance est à prendre avec beaucoup de prudence, car cette analyse se situe au niveau de la tâche prescrite à l'enseignant(e) qui peut être très différente de la tâche effective mise en oeuvre par l'enseignant(e), qui sera différente de la tâche effective réalisée par les élèves.

## Résultats 2 : Répartition homogène des gaz

### Catégorisation des réponses des élèves.

Le but de notre analyse est de déterminer si les réponses des élèves considèrent la répartition des gaz comme : homogène ou inhomogène. Nous rappelons qu'ils doivent donner des explications à la fois par écrit et en dessinant un schéma pour quatre situations différentes. Afin de pouvoir comparer les réponses écrites et les schémas, nous avons défini 4 catégories concernant la répartition : *Partout, à un endroit, autre, pas de réponse*.

La catégorie répartition de **partout** correspond aux réponses écrites utilisant des expressions se rapprochant de la propriété que les gaz se répartissent dans tout le volume disponible. Concrètement, nous avons sélectionné toute les réponses écrites contenant les termes suivants :

"toute la place", "tout l'espace", "partout", "homogène", "dans tout", "dans toute", "prendre toute la place", "occupe tout l'espace"... Nous donnons à titre d'exemple quelques explications d'élèves que nous interprétons comme faisant référence à une répartition homogène : "Comme l'air prend toute la place dans le ballon les parois st donc tendues", "L'air exerce une même pression sur toutes les parois car il occupe tout l'espace offert" et "l'air est situé homogènement partout dans la seringue", "Il se gonfle car les molécules occupent toute la place donnée"

Cette catégorie regroupe aussi les schémas qui représentent l'air, les gaz au niveau macroscopique (surface continue) ou microscopique (entités séparés) se répartissant de partout dans les objets des situations (Ballon, pompe, bouteille et ballon de baudruche...) Voici à titre d'exemple, quelques représentations d'élèves relevant de la catégorie répartition de partout (figure 5) :

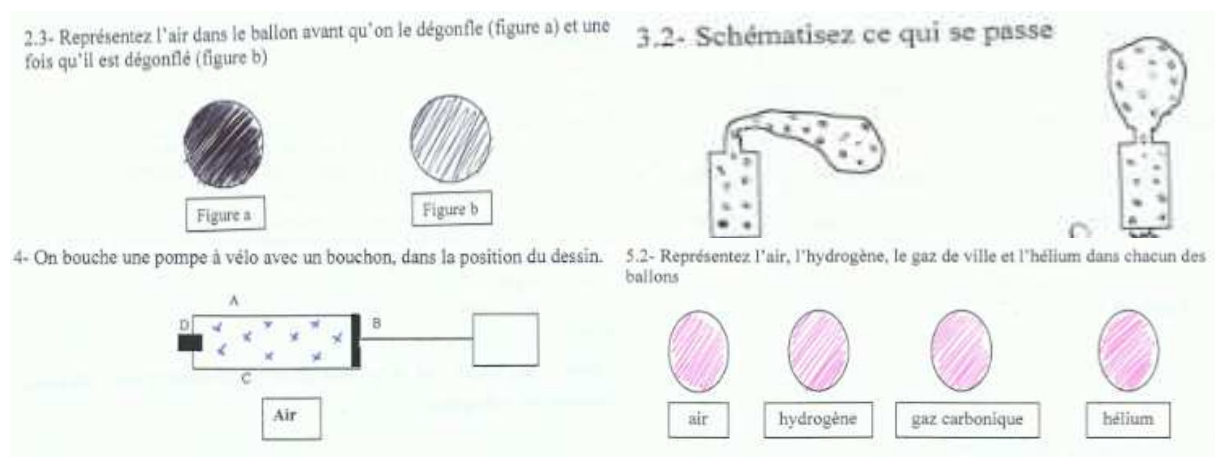




Figure 5: exemples de schémas répartition de partout

La catégorie **répartition à un endroit** regroupe les expressions qui précisent que le gaz ou les molécules se situent à un endroit spécifique :

Nous donnons à titre d'exemple des réponses d'élèves : "les molécules se concentrent sur les parois qui sont occupées par l'air", "l'air qui était dans la bouteille est monté car l'air chaud monte vers le haut" et "oui car il y a moins d'air sur les bords du ballon"...

De même, nous avons considéré que les schémas représentant les gaz ou les molécules à un endroit relevé de la catégorie répartition à un endroit. Voici à titre d'exemple, quelques représentations d'élèves que nous avons considéré comme ayant une répartition inhomogène (figure 6) :

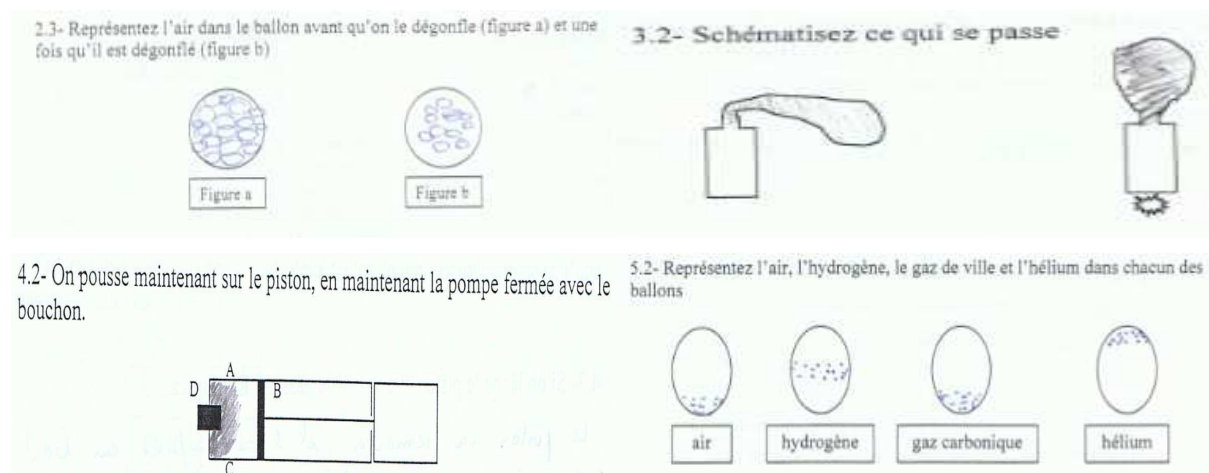


Figure 6: exemples de schémas catégorisés comme ayant une répartition à un endroit

La catégorie **Autre** concerne : (a) l'ensemble des réponses des élèves ne correspondant à aucune des catégories répartition de "partout" ou "à un endroit", par exemple : "le ballon contient moins d'air, donc il y a moins de pression", "la bouteille est chauffée et le ballon se gonfle", "la pression diminue"... ; ainsi que (b) les réponses ne répondant pas aux questions : "allez l'O.L.", "bonne chance pour ta recherche", "parce que c'est logique"...

De la même manière, nous avons regroupé dans cette catégorie **Autre** : (a) les schémas qui ne décrivent pas explicitement de répartition, ainsi que (b) ceux ne répondant pas aux questions (figure 7) :

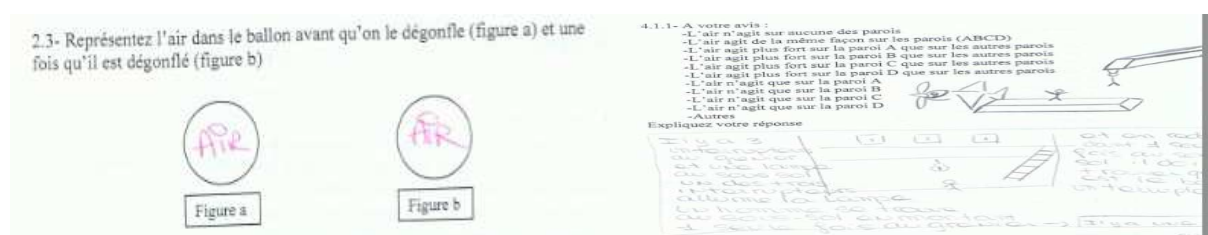


Figure 7: exemples de la catégorie Autre

La dernière catégorie **Pas de réponse** correspond à l'absence de réponse des élèves à une question.

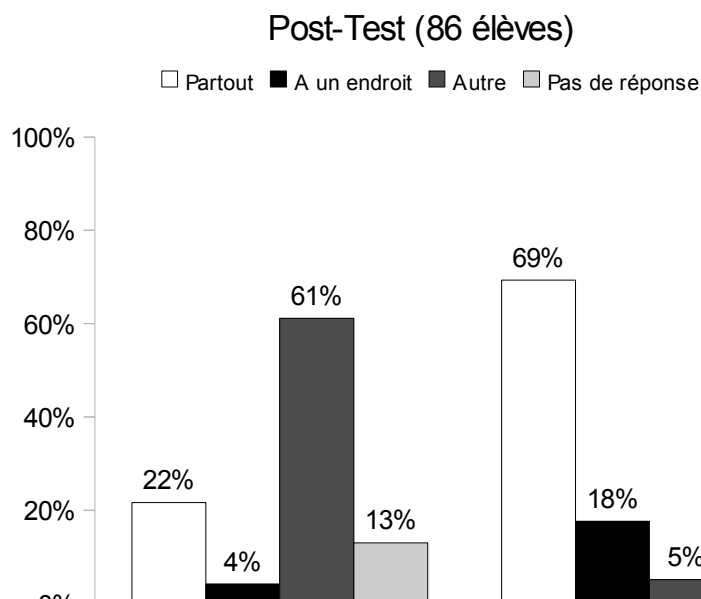
### Meilleure performance des élèves dans le registre des schémas

Nous proposons de montrer qu'il y a beaucoup plus de réponses d'élèves après l'enseignement, qui utilisent une répartition homogène dans le registre sémiotique du schéma que dans celui de la



langue naturelle.

Le graphique 4 donne le pourcentage des réponses utilisant la répartition homogène ("partout") ou inhomogène ("à un endroit") en fonction des registres sémiotiques du langage naturelle et du schéma des 86 élèves de 3 classes de Seconde ayant répondu au questionnaire après la séquence d'enseignement sur les gaz.



Graphique 4 : Pourcentage des réponses des 86 élèves après l'enseignement pour le registre de la langue naturelle ( $p \leq 0\%$  Khi2(3,  $N = 86$ ) = 65,21) et celui du Schéma ( $p \leq 0\%$  Khi2 (3,  $N = 86$ ) = 92,46)

Le graphique 4 donne en ordonnée le pourcentage des réponses des 86 élèves pour chacune de nos 4 catégories (partout, à un endroit, autre, pas de réponse) en fonction des registres sémiotique de la langue naturelle et du schéma. Comme le montre, nos tests d'ajustement du Khi2 à une loi d'équiprobabilité, nos résultats sont statistiquement très significatif.

Le graphique montre que 69% (bâtonnet blanc) des réponses utilisent une répartition homogène (catégorie "Partout") dans le registre du schéma, alors que seulement 22% (bâtonnet blanc) utilise cette répartition dans le registre de la langue naturelle.

Ce résultat montre un écart de 47 % entre les deux registres sémiotiques. Ce qui confirme notre hypothèse H0 : "les performances des élèves pour exprimer leurs idées varient en fonction du registre sémiotique utilisé".

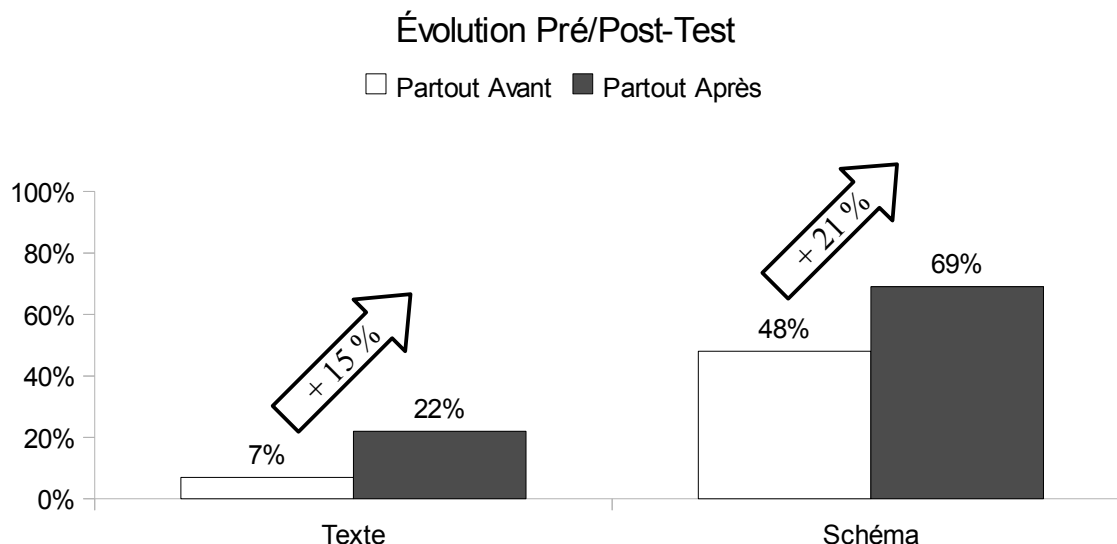
Ce résultat est assez surprenant, car a priori les élèves pouvaient utiliser une répartition homogène aussi bien dans leurs réponses écrites que sur leurs schémas. Il est intéressant de remarquer que 61% des réponses en langue naturelle correspond à la catégorie "Autre", c'est-à-dire ne traitant pas de répartition des gaz. Ceci signifie qu'un grand nombre d'élèves ont traité les différentes situations sans éprouver la nécessité de faire référence à la répartition homogène des gaz. De plus, nous pouvons remarquer que 4% des élèves utilise une répartition inhomogène (catégorie "à un endroit") en langage naturel, contre 18% sur les schémas. Donc il y a un nombre un peu plus important de réponses d'élèves qui utilisent une répartition en contradiction avec le point de vue de la physique.

Le but de l'enseignement était que les élèves s'approprient l'idée de la répartition homogène des gaz dans les différentes situations. Nos résultats indique que l'efficacité de l'enseignement de cette notion est plus importante dans le registre du schéma. En effet, les élèves se montrent performant dans l'utilisation de cette idée dans le registre du schéma (69% > 50%), mais pas dans le registre de la langue naturelle (22% > 27%). Ceci confirme notre hypothèse H1 : "l'efficacité d'un enseignement sur l'utilisation des idées des élèves varie en fonction du registre sémiotique utilisé".

En conclusion, nos hypothèses H0, H1 sont validées pour les idées des 86 élèves concernant la répartition homogène d'un gaz avec 69% des réponses réalisés dans le registre du schéma contre seulement 22% pour le registre de la langue naturelle.

### **Meilleure progression dans le registre des schémas**

Le graphique 5 présente l'évolution du pourcentage des réponses des élèves utilisant une répartition homogène ("partout") et inhomogène ("à un endroit") dans les deux registres sémiotiques avant et après l'enseignement.



3. Graphique 5 : l'évolution du pourcentage des réponses des élèves sur la répartition dans les deux registres sémiotiques avant et après l'enseignement.

Le graphique montre l'évolution entre avant et après l'enseignement des idées des élèves sur la répartition dans le registre du langage naturelle et celui du schéma.

Le registre sémiotique du schéma montre une augmentation de + 21% des idées des élèves adoptant une répartition homogène des gaz. En effet, nous pouvons voir que 48 % des schémas utilisent cette répartition avant l'enseignement contre 69% après la séquence sur les gaz.

Le registre du langage naturelle indique une évolution de + 15% pour les idées des élèves utilisant une répartition homogène des gaz. les explications des élèves utilisant cette répartition passent de 7% avant l'enseignement à 22% après la séquence.

Les idées des élèves sur la répartition homogène des gaz progressent de 6% en plus dans le registre du schéma (+21%) que dans celui de la langue naturelle (+15%). Ceci conforte dans une moindre mesure notre hypothèse H2 : "l'efficacité d'un enseignement sur la progression des idées des élèves varie en fonction du registre sémiotique utilisé".

Nous avons cherché les éléments de la séquence d'enseignement pouvant éventuellement favoriser la différence d'évolution entre les registres sémiotiques. La répartition homogène des gaz est abordée uniquement dans une phrase en langage naturelle du modèle microscopique. Les textes des modèles ne semblent pas favoriser cet aspect des gaz. De plus, cet aspect n'est pas mobilisé dans le registre du schéma.

Cependant, l'analyse des 52 sous-tâches de la séquence d'enseignement montre que 15 d'entre-elles ont pour but l'utilisation de la répartition homogène des gaz (voir l'analyse de la séquence dans la méthodologie). Parmi ces sous-tâches, 6 utilisent le registre sémiotique de la langue naturelle et 9 font appelle au registre des schémas. Une part plus importante des sous-tâches introduisant une

répartition homogène des gaz s'est faite dans le registre des schémas. Cela pourrait expliquer en partie pourquoi les idées des élèves progressent plus dans ce registre. Ces différents éléments tendent à favoriser l'hypothèse H3 : "la progression des idées des élèves est liée aux registres sémiotiques mobilisés dans les sous-tâches de la séquence d'enseignement", sans pouvoir clairement la valider. De plus, la différence de progression (6%) est beaucoup plus faible que dans le cas l'aspect particulaire des gaz.

### Résultats 3 : action des gaz

L'action du gaz est une propriété très importante pour construire le concept de pression, ainsi que de force pressante. Cette partie propose d'analyser l'efficacité de la séquence d'enseignement pour que les élèves mobilisent cette propriété dans les deux registres sémiotiques.

#### Catégorisation des réponses des élèves

La catégorie "Agit" regroupe les réponses écrites utilisant des expressions faisant référence à l'action du gaz ou des molécules, comme par exemple : "l'air agit sur toute les parois", "le ballon devient moins dur car il contient moins d'air, de il y aura moins de chocs sur les parois", "l'air prend toute la place et va et vient à son aise, donc l'air n'agit sur aucune des parois"

Nous considérons les schémas utilisant des flèches comme faisant référence à l'action du gaz. Ils ont été regroupé dans la catégorie "Agit" (figure 8) :

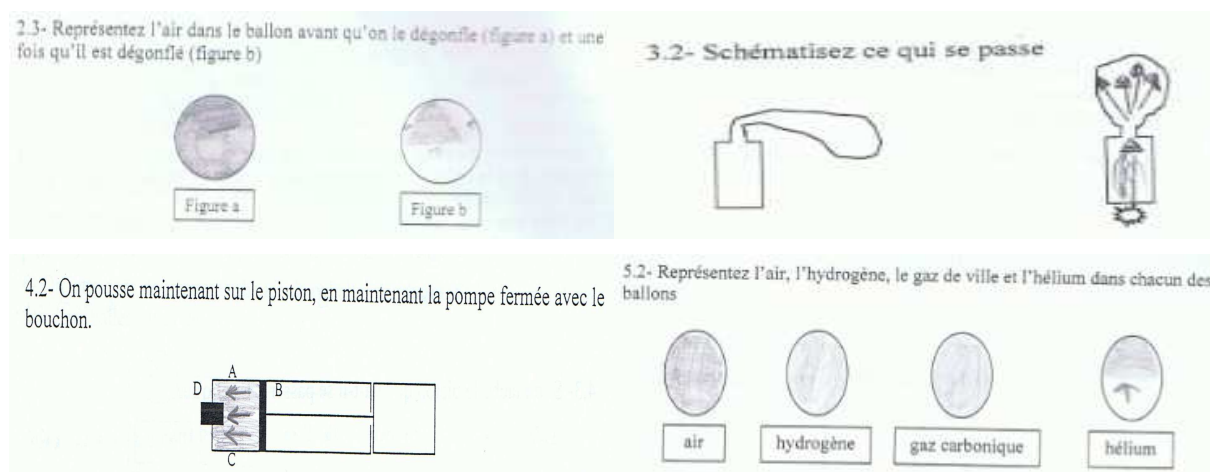


Figure 8 : exemple de schémas avec des flèches illustrant la catégorie "Agit"

L'utilisation de la flèche peut-être polysémique. En effet, elle peut représenter l'action du gaz, mais aussi son déplacement. Il est très difficile de faire une distinction explicite sur les schémas des élèves entre les flèches symbolisant l'action et celles représentant le mouvement. Néanmoins nous avons fait le choix regrouper dans la catégorie "agit" tous les schémas utilisant une flèche pour deux raisons : La première s'appuie sur des résultats de recherche montrant que l'air n'agit que lorsqu'il est en mouvement pour les élèves de collège (Séré, 1985) et de l'école primaire (Borghi, Ambrosis, Massara, Grossi, & Zoppi, 1988). C'est-à-dire qu'il y a une sorte de lien pour les élèves entre l'action de l'air et son mouvement. C'est pourquoi, nous considérons que même si la flèche fait référence au mouvement de l'air, il y a de forte chance que ce mouvement soit associé à l'action de l'air. La seconde raison s'appuie sur la séquence d'enseignement dans laquelle la flèche est utilisée pour représenter le vecteur de la force pressante qui modélise l'action exercée par le gaz sur une paroi.

Nous avons aussi défini les catégories "Autre" et "pas de réponse".

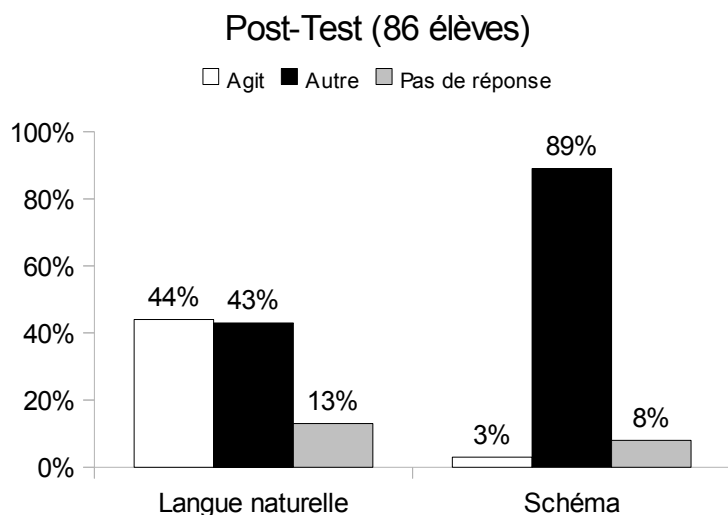
Les flèches ne sont pas suffisantes pour expliquer la plupart des situations proposées. L'air agit sur

toutes les parois du ballon de foot cela ne suffit pas pour expliquer pourquoi il devient plus mou (il faudrait la différence de force pressante pour expliquer). L'air agit sur toutes les parois de la pompe à vélo sans action sur le piston et avec action. Les gaz agissent sur les parois des ballons de baudruches, mais cela n'explique pas pourquoi. Seul l'air agit sur les parois du ballon de baudruche semble pertinent pour expliquer pourquoi le ballon se gonfle.

En revanche, les explications écrites utilisant l'action de l'air semblent plus pertinentes, par exemple : l'air agit moins sur les parois du ballon de foot lorsqu'il est dégonflé, l'air agit plus dans le ballon de baudruche, l'air agit plus dans la pompe lorsque l'on pousse le piston, seule l'action de l'air n'est pas pertinente pour décrire la situation avec les ballons de baudruches.

### **Meilleure performance des élèves dans le registre du langage naturel**

Nous proposons de montrer qu'il y a beaucoup plus de réponses d'élèves après l'enseignement, qui utilisent l'action du gaz dans le registre sémiotique de la langue naturelle que dans celui du schéma. Le graphique 6 donne le pourcentage des réponses utilisant l'action du gaz en fonction des registres sémiotiques du langage naturel et du schéma des 86 élèves de 3 classes de Seconde ayant répondu au questionnaire après la séquence d'enseignement sur les gaz.



*Graphique 6 : Pourcentage des réponses des 86 élèves après l'enseignement pour le registre de la langue naturelle ( $p < 0,0003\%$   $\chi^2(2, N = 86) = 15,97$ ) et celui du Schéma ( $p \leq 0\%$   $\chi^2(2, N = 86) = 118,48$ )*

Le graphique 6 donne en ordonnée le pourcentage des réponses des 86 élèves pour chacune de nos 3 catégories (agit, autre, pas de réponse) en fonction des registres sémiotique de la langue naturelle et du schéma. Comme le montre, nos tests d'ajustement du  $\chi^2$  à une loi d'équiprobabilité, nos résultats sont statistiquement très significatifs.

Le graphique montre que 44% (bâtonnet blanc) des réponses utilisent le fait que l'action du gaz (catégorie "Agit") dans le registre de la langue naturelle, alors que seulement 3% (bâtonnet blanc) utilise cette idée dans le registre du schéma. Ce résultat montre un écart de 41 % entre les deux registres sémiotiques. Ce qui confirme notre hypothèse  $H_0$  : "les performances des élèves pour exprimer leurs idées varient en fonction du registre sémiotique utilisé". Ce résultat est assez surprenant, car a priori les élèves pouvaient décrire l'action d'un gaz aussi bien dans leurs réponses écrites qu'en utilisant des flèches dans leurs schémas. Il est intéressant de remarquer que 89% des réponses sur le schéma correspondent à la catégorie "Autre", c'est-à-dire ne traitant pas de

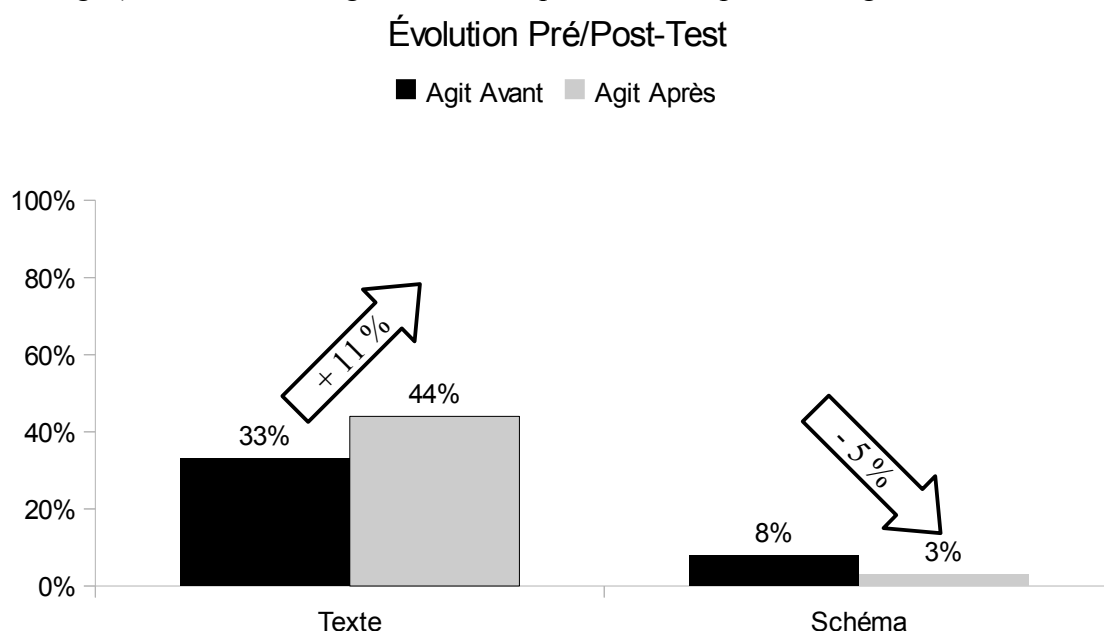
l'action des gaz. Ceci signifie qu'un grand nombre d'élèves ont traité les différentes situations sans éprouver la nécessité de faire référence l'action des gaz dans leurs schémas.

Le but de l'enseignement était que les élèves s'approprient l'idée que les gaz agissent sur les parois d'un enceinte fermée dans les différentes situations. Nos résultats indiquent que l'efficacité de l'enseignement de cette notion n'est pas atteinte. En effet, les élèves ne se montrent pas performant dans l'utilisation de cette idée dans le registre de la langue naturelle ( $44\% < 50\%$ ), et encore moins performant dans le registre du schéma ( $3\% \ll 50\%$ ). Cependant, nos résultats montrent une utilisation beaucoup plus importante de l'action des gaz dans le registre de la langue naturelle que dans celui du schéma. Ces résultats confirment notre hypothèse H0, mais ne nous permettent pas de nous prononcer sur l'hypothèse H1 : "l'efficacité d'un enseignement sur l'utilisation des idées des élèves varie en fonction du registre sémiotique utilisé", car l'efficacité de l'enseignement n'est atteinte dans aucun des registres.

En conclusion, l'hypothèse H0 est validée. Rappelons que 44% des réponses des 86 élèves utilisent l'action du gaz dans le registre de la langue naturelle contre seulement 3% pour le registre du schéma.

### **Meilleure progression dans le registre de la langue naturelle**

Le graphique 7 présente l'évolution du pourcentage des réponses des élèves utilisant l'action du gaz (catégorie "agit") dans les deux registres sémiotiques avant et après l'enseignement.



*Graphique 7 : l'évolution du pourcentage des réponses des élèves sur l'action du gaz dans les deux registres sémiotiques avant et après l'enseignement.*

Le graphique 7 montre l'évolution entre avant et après l'enseignement des idées des élèves sur l'action du gaz dans le registre de la langue naturelle et celui du schéma. Le registre de la langue naturelle indique une évolution de +11% pour les idées des élèves utilisant le fait que le gaz agit. Les explications des élèves utilisant cette idée passent de 33% avant l'enseignement à 44% après la séquence. Le registre sémiotique du schéma montre une régression de -5% des idées des élèves mobilisant l'action de l'air. En effet, nous pouvons voir que 8% des schémas utilisent cette idée avant l'enseignement contre 3% après la séquence sur les gaz. Cette régression est très surprenante, car un des enjeux de l'enseignement est d'apprendre aux élèves à modéliser l'action d'un gaz par un vecteur représentant la force pressante. Il est possible qu'avant l'enseignement une partie des 8%

d'élèves utilisaient la flèche sur les schémas pour représenter le mouvement du gaz et non pas l'action de celui-ci. Peut-être que les 3% de réponses qui restent après l'enseignement correspondent uniquement aux flèches représentant l'action du gaz. Cependant ce résultats montrent que la séquence sur les gaz a pu avoir un effet négatif sur l'apprentissage des élèves.

Les idées des élèves sur l'action des gaz progressent de +16% en plus dans le registre de la langue naturelle du schéma (+11%) que dans celui (-5%). Ceci conforte notre hypothèse H2 : "l'efficacité d'un enseignement sur la progression des idées des élèves varie en fonction du registre sémiotique utilisé".

Nous avons cherché les éléments de la séquence d'enseignement pouvant éventuellement favoriser la différence d'évolution entre les registres sémiotiques. L'action des gaz est présentée dans : (a) une phrase en langage naturelle du modèle microscopique, (b) une phrase et un schéma dans le modèle macroscopique et (c) dans une phrase dans l'interprétation microscopique des grandeurs macroscopiques. Les textes des modèles semblent favoriser l'action des gaz. De plus, cet aspect est mobilisé dans le registre du langage naturelle et celui du schéma. L'analyse des 52 sous-tâches de la séquence d'enseignement montre que 19 d'entre-elles ont pour but l'utilisation de l'action des gaz (voir analyse de la séquence ci-dessus). Parmi ces sous-tâches, 17 utilisent le registre sémiotique de la langue naturelle et 2 font appel au registre des schémas.

La plupart des sous-tâches introduisant l'action des gaz sont dans le registre sémiotique de la langue naturelle. Cela pourrait expliquer en partie pourquoi ces idées progressent plus dans ce registre. Ces différents éléments tendent à favoriser l'hypothèse H3 : "la progression des idées des élèves est liée aux registres sémiotiques mobilisés dans les sous-tâches de la séquence d'enseignement", sans pouvoir vraiment la valider.

## Conclusion

À partir d'un travail empirique portant sur l'analyse d'un questionnaire donné à des élèves de Seconde, notre étude montre que : (I) l'efficacité d'une séquence d'enseignement varie en fonction des registres sémiotiques utilisés, (II) les performances et la progression des élèves pour exprimer des idées sur des aspects des gaz (particulaire, répartition et action) dépendent clairement des registres sémiotiques utilisés et (III) les registres sémiotiques des sous-tâches proposés par l'enseignement semblent avoir un lien la progression des idées des élèves.

En effet, nos résultats sur la performance montrent qu'après l'enseignement les élèves mobilisent correctement : (1) l'aspect particulaire des gaz dans 73 % des schémas et seulement dans 27% des réponses écrites en langue naturelle, (2) la répartition homogène des gaz dans 69% des schémas et seulement dans 22% des réponses écrites et (3) l'action du gaz dans 44% des réponses écrites et seulement 3% des schémas. C'est-à-dire que les élèves sont beaucoup plus performant : (a) dans le registre du schéma pour utiliser l'aspect particulaire et la répartition homogène des gaz et (b) dans le registre des réponses écrites en langage naturel pour mobiliser l'action du gaz.

De plus, nos résultats montrent que la séquence d'enseignement est efficace (nombre de réponses correctes supérieure à 50%) en terme de performance des élèves dans le registre sémiotique du schéma pour exprimer les idées sur l'aspect particulaire et la répartition homogène d'un gaz.

Nos résultats sur la progression montrent que les élèves évoluent dans l'utilisation de : (1) l'aspect particulaire des gaz de +46% dans le registre sémiotique du schéma et de +24% dans celui du langage naturel, (2) la répartition homogène des gaz de +21% dans le registre des schémas et de +15% dans les réponses écrites en langues naturelles et (3) l'action du gaz de +11% dans le registre du langage naturel écrit et de -5% dans celui du schéma. En d'autres termes, les élèves progressent mieux : (a) dans le registre du schéma pour les notions d'aspect particulaire et de répartition des gaz et (b) dans le registre du texte écrit en langage naturel pour la notion d'action du gaz. Soulignons qu'il y a une régression pour les élèves exprimant l'idée de l'action d'un gaz dans les schémas suite à l'enseignement.

L'analyse des registres sémiotiques des 52 sous-tâches de la séquence d'enseignement, nous a permis d'établir un lien avec la progression des idées des élèves. Il semble que lorsque la majorité des sous-tâches se situent dans un registre sémiotique, celle-ci semble influencer le registre sémiotique ayant la plus grande progression des idées des élèves. En effet, la représentation d'un gaz à l'échelle microscopique est essentiellement travaillée dans le registre du schéma dans 9 sous-tâches de l'enseignement, et la progression des idées des élèves mobilisant l'aspect particulaire des gaz est plus importante de 22 % dans le registre des schémas. De même, la progression des idées des élèves sur la répartition homogène des gaz est plus importante de 6 % dans le registre des schémas (+21% ) que dans celui de la langue naturelle (15%), et cette notion est travaillée dans 9 sous-tâches utilisant le registre du schéma contre 6 mobilisant celui de la langue naturelle. La notion d'action d'un gaz est travaillée dans 17 sous-tâches utilisant le registre sémiotique de la langue naturelle et 2 sous-tâches faisant appelle au registre des schémas et la progression des idées des élèves sur cette notion est plus importante de 16 % dans le registre de la langue naturelle. Pour conclure, il semble qu'il y ait une influence probable entre les registres sémiotiques utilisées pour travailler une notion dans l'enseignement et l'importance de la progression des idées des élèves sur cette notion dans ces mêmes registres sémiotiques. Néanmoins, il ne semble y avoir de proportionnalité direct entre le nombre de sous-tâches et le pourcentage de progression des idées.

## Discussion

Nous retrouvons des résultats similaires à ceux établis précédemment par Duval (1995) en didactique des mathématiques. Notamment que les élèves appréhendent plus facilement certaines notions en fonction des registres de représentation sémiotiques utilisés. Cependant, la différence de réussite entre les élèves semble s'appuyer sur la notion de congruence entre les registres sémiotiques dans les travaux de Duval (1995), alors que nos résultats semblent souligner l'importance des registres sémiotiques utilisés dans les sous-tâches proposées dans l'enseignement d'une notion. Par exemple, il y a congruence entre le mot "molécule" en langue naturelle et sa représentation par un "cercle" sur un schéma, c'est-à-dire qu'il y a correspondance sémantique entre leurs unités signifiantes, univocité sémantique terminale et même ordre possible d'appréhension de ces unités dans les deux représentations (Duval, 1995, p.49). Par conséquent, les élèves devraient réussir aussi bien à décrire un gaz au niveau microscopique dans le registre sémiotique du langage naturel (avec le mot "molécule") qu'avec celui du schéma (en dessinant des cercles). Ceci n'est pas le cas dans nos résultats, où il y a une meilleure performance des élèves dans le registre du schéma. On retrouve des résultats équivalents pour les idées des élèves concernant la répartition homogène et l'action des gaz. Cette différence peut s'expliquer en partie par des conditions expérimentales différentes, particulièrement la nature épistémique des tâches (Mathématique vs Physique) demandées dans les questionnaires aux élèves de Seconde de nos deux études.

D'un point de vue méthodologique, notre étude a obtenu une analyse reproductible et des résultats statistiquement significatifs. En effet, la catégorisation des réponses du questionnaire a été reproduite par le premier auteur avec le meilleur niveau d'accord au test statistique Kappa ( $\kappa = 0,84$ ). Pour augmenter la qualité de cette reproductibilité, il aurait été souhaitable que notre analyse puisse être reproduite à partir de nos catégories par un autre chercheur, de préférence d'une autre équipe de recherche. De plus, la taille de notre échantillon (86 élèves), nous a permis d'obtenir des résultats statistiquement significatif au test d'ajustement du Khi2 à une loi d'équiprobabilité.

Cependant, nos résultats se limitent aux réponses écrites en langue naturelle et aux schémas des élèves de Seconde après la séquence d'enseignement sur les gaz construite par le groupe Sésame. Ils ne permettent pas de donner des éléments sur les effets de cet apprentissage à long terme (c'est-à-dire comment évoluent les idées des élèves au bout de plusieurs semaines, mois, années). De plus, nous considérons que nos résultats ne peuvent pas être extrapolés : (a) à d'autres élèves de classes et de niveaux différents, (b) dans de nouveaux registres sémiotiques (formule, graphe, photo...) et (c) à

des séquences d'enseignements concernant d'autres concepts de la physique (ex. la masse, la force, l'énergie...). Néanmoins, ils pourront être pris comme des hypothèses qui devront être vérifiées dans ces nouvelles conditions par de futures recherches.

## Implications

Les implications de nos résultats concernent aussi bien le domaine de la recherche, que celui de l'enseignement. Ils apportent des éléments pour prendre en compte les registres sémiotiques dans l'évaluation et l'élaboration des enseignements.

Nos résultats montrent que les réponses des élèves peuvent être radicalement différentes en fonction du registre de représentation sémiotique utilisé. Par conséquent, nous proposons que chaque évaluation écrite utilise systématiquement plusieurs registres sémiotiques. En effet, nous aurions pu conclure en utilisant un seul registre dans notre questionnaire : soit que 73% des élèves utilisent l'aspect particulaire des gaz suite à l'enseignement à partir d'une évaluation utilisant uniquement le registre du schéma ; ou soit que seulement 27% des élèves mobilisent le modèle microscopique à partir de questions basées sur des réponses écrites en langue naturelle. La plupart des travaux sur les conceptions des élèves (notamment Tiberghien et al., 2002) s'accordent sur le fait que chaque conception est une reconstruction du chercheur, qui est spécifique à une personne pour une situation particulière (ex. les conceptions conjoncturelles de (Clément, 1994) à un moment donnée. Notre définition d'une "idée" exprimée par un élève à travers le langage écrit propose d'élargir cette définition en spécifiant à chaque fois le registre de représentation sémiotique utilisé. Nos résultats sur les idées des élèves étant valides uniquement pour un registre de représentation sémiotique spécifique, nous proposons que les questions écrites à propos d'une notion particulière dans une situation spécifique soient proposées systématiquement à travers différents registres sémiotiques : aussi bien par les chercheurs pour les questionnaires, que par les enseignants à travers les différents type d'évaluations écrites diagnostiques, formatives ou sommatives

Nous proposons que nos résultats soient utilisés par les enseignants pour améliorer l'enseignement sur les gaz à partir d'une utilisation plus pertinente des registres sémiotiques pour introduire certaines notions scientifiques sur les gaz. En effet, nos résultats montrent que les élèves sont beaucoup plus performant : (a) dans le registre du schéma pour utiliser l'aspect particulaire et la répartition homogène des gaz et (b) dans le registre des réponses écrites en langage naturel pour mobiliser l'action du gaz. Les enseignants peuvent choisir d'introduire les notions dans les registres sémiotiques où les élèves sont le plus performants, ou de renforcer l'utilisation de certains registres sémiotiques en consacrant un temps d'enseignement plus important. Par exemple, il serait possible d'introduire la notion d'aspect particulaire à partir du registre sémiotique du schéma et celle de l'action du gaz par le registre écrit du langage naturel ou bien de prévoir plus de travail pour les élèves pour renforcer l'utilisation de la répartition des gaz dans le registre du texte en langage naturel.

## Remerciement

## Bibliographie

- Adey, P. (1999). Revisiting cognitive conflict, construction, and metacognition, and discovering metaconstructivism. In M. Komorek, H. Behrendt, H. Dahncke, R. Duit, W. Graeber, & A. Kross (Éd.), *Research in Science Education - Past, Present, and Future* (Vol. 1, p. 58-61). Kiel: IPN Kiel.
- Airey, J., & Linder, C. (2009). A disciplinary discourse perspective on university science learning: Achieving fluency in



- a critical constellation of modes. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(1), 27-49.
- Benson, D. L., Wittrock, M. C., & Baur, M. E. (1993). Students' preconceptions of the nature of gases. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(6), 587-597. doi:10.1002/tea.3660300607
- Borghi, L., Ambrosis, A. D., Massara, C. I., Grossi, M. G., & Zoppi, D. (1988). Knowledge of air: A study of children aged between 6 and 8 years. *International Journal of Science Education*, 10(2), 179-188. doi:10.1080/0950069880100206
- Brook, A., Briggs, H., & Driver, R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter*. Leeds: University Leeds, centre for Studies in Science and Mathematics Education.
- Bulletin Officiel de l'éducation nationale. (1999). Programmes de la classe de seconde générale. (Hors-série n°6).
- Bulletin Officiel de l'éducation nationale. (2010). Programme de physique - chimie en classe de seconde générale et technologique, (Spéciale n°4 du 29 avril).
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique - du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La pensée sauvage.
- Chomat, A., Larcher, C., & Méheut, M. (1988). Modèle particulaire et activités de modélisation en classe de quatrième. *Aster*, 7, 143-184.
- Clément, P. (1994). Représentation, Conceptions, Connaissances. In A. Giordan, Y. Girault, & P. Clément (Éd.), *Conceptions et connaissances* (p. 15-47). Berne: Peter Lang S.A.
- Clough, E. E., & Driver, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70(4), 473-496. doi:10.1002/sce.3730700412
- Cusset, P.-Y. (2011). Que disent les recherches sur l'« effet enseignant » ? *Note d'analyse*, (232), 1-12.
- De Berg, K. C. (1992). Students' thinking in relation to pressure-volume changes of a fixed amount of air: the semi-quantitative context. *International Journal of Science Education*, 14(3), 295-303. doi:10.1080/0950069920140306
- Dumay, X., & Dupriez, V. (2009). *L'efficacité dans l'enseignement: promesses et zones d'ombre*. Bruxelles: De Boeck.
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine: registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*. Peter Lang.
- Feyfant, A. (2011). Effets des pratiques pédagogiques sur les apprentissages. *Dossier d'actualité veille et analyses*, (65), 1-14.
- Givry, D. (2003). *Etude de l'évolution des idées des élèves de seconde durant une séquence d'enseignement sur les gaz*. Université Lumière, Lyon.
- Givry, D., & Roth, W. M. (2006). Toward a new conception of conceptions: Interplay of talk, gestures, and structures in the setting. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 1086-1109.
- Givry, Damien, & Tiberghien, A. (2012). Studying Students' Learning Processes Used during Physics Teaching Sequence about Gas with Networks of Ideas and Their Domain of Applicability. *International Journal of Science Education*, 34(2), 223-249. doi:10.1080/09500693.2011.566289
- Gunstone, R., & Mitchell, I. (1998). Metacognition and conceptual change. In J. Mintzes, J. Wandersee, & J. Novak (Éd.), *Teaching science for understanding* (p. 133-163). San Diego: Academic Press.
- Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. (2001). *Multimodal Teaching and Learning: The Rhetorics of the Science Classroom*. Continuum International Publishing Group.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation* (Cambridge University Press.). Cambridge.
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning and values*. Norwood, NJ: Ablex.
- Lemke, J. L. (1998). Teaching all the languages of science: Words, symbols, images, and actions. *Jay L Lemke on-line office*. Consulté à l'adresse <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/papers/barcelon.htm>
- Leontiev, A. N. (1981). *Activité Conscience Personnalité* (Edition du progrès.). Moscou.
- Leplat, J., & Hoc, J.-M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. In J. Leplat (Éd.), *L'analyse du travail en psychologie ergonomique* (Octarès., Vol. Tome I, p. 47-60). Toulouse.
- Méheut, M. (1994). Enseignement de modèles particuliers et modélisation de systèmes gazeux. Présenté à Sixièmes journées informatique et pédagogie des sciences physiques, Paris: INRP et UDP.
- Méheut, M., & Chomat, A. (1990). Les limites de l'atomisme enfantin : expérimentation d'une démarche d'élaboration d'un modèle particulaire par des élèves de collège. *European journal of psychology of education*, 5(4), 417-437.
- Miyake, N. (2008). Conceptual change through collaboration. In *International handbook of research on conceptual change* (p. 453-478). New York: Routledge.
- Niaz, M. (2000). Gases as Idealized Lattices: A Rational Reconstruction of Students' Understanding of the Behavior of Gases. *Science & Education*, 9(3), 279-287. doi:10.1023/A:1008612819413
- Noh, T., & Scharmann, L. C. (1997). Instructional influence of a molecular-level pictorial presentation of matter on students' conceptions and problem-solving ability. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 199-217. doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199702)34:2<199::AID-TEA6>3.0.CO;2-O
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education*, 62(3), 273-281. doi:10.1002/sce.3730620303
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science*

*Education*, 65(187-196).

- Pfundt, H., & Duit, R. (2013). *Bibliography: Students' and teachers' conceptions and science education*. Kiel: IPN.
- Pintrich, P. R. (1999). Motivational beliefs as resources for and constraints on conceptual change. In *New perspectives on conceptual change* (p. 33-50). Oxford, UK: Pergamon.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227. doi:10.1002/sce.3730660207
- Pozzer-Ardenghi, L., & Roth, W. M. (2009). How do we know he is not talking about himself? Demonstrations in Science Classroom. *Journal of Pragmatics*, 41(4), 684–698.
- Pozzer-Ardenghi, Lilian. (2009). Research on inscriptions: Visual literacy, authentic science practices, and multimodality. In K. Tobin & W.-M. Roth (Éd.), *The world of science education. Handbook of research in North America* (p. 307-324). Rotterdam: Sense Publishers.
- Pustjens, H., Van Damme, J., Opdenakker, M.-C., Van Landeghem, G., De Fraigne, B., & Van de Gaer, E. (2009). Fondements et principaux résultats de recherche sur l'efficacité dans l'enseignement. In *L'efficacité dans l'enseignement* (p. 19-34). Bruxelles: De Boeck.
- Rogalski, J. (2008). La classe de mathématiques : activités de élèves et pratiques des enseignants. In F. Vandebrouck (Éd.), . Toulouse: Octares.
- Roth, W.-M., & Welzel, M. (2001). From activity to gestures and scientific language. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(1), 103–136. doi:10.1002/1098-2736(200101)38:1<103::AID-TEA6>3.0.CO;2-G
- Sensevy, G., & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes: PUR.
- Séré, M. G. (1985). *analyse des conceptions de l'état gazeux qu'ont les enfants de 11 à 13 ans en liaison avec la notion de pression, et propositions de stratégies pédagogiques pour en faciliter l'évolution*. Paris: Université Paris 6.
- Séré, M. G., & Moppert, M. (1989). Présentation d'un modèle particulière des gaz à des élèves de 6ème. Obstacles et acquisitions. *Petit x*, 21, 31-42.
- Sinatra, G. M., & Mason, L. (2008). Beyond knowledge: Learner characteristics influencing conceptual change. In *International handbook of research on conceptual change* (p. 560-582). New York: Routledge.
- Stavy, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 10(5), 553-560.
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. A. Duschl & R. Hamiltonn (Éd.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice* (p. 147-176). Albany, NY: State University of New York Press.
- Tang, K., Tan, S. C., & Yeo, J. (2011). Students' Multimodal Construction of the Work–Energy Concept. *International Journal of Science Education*, 33(13), 1775-1804.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching–learning situations. *Learning and Instruction*, (4), 71–87.
- Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach, & J. Osborne (Éd.), *Improving science education* (p. 27-47). Buckingham: Open University Press.
- Tiberghien, A., Buty, C., Cornuéjols, A., Veillard, L., Laborde, C., Bouchard, R., Rogalski, J. (2002). *Des connaissances naïves au savoir scientifiques*. Lyon: Programme « École et sciences cognitives ».
- Tiberghien, A., Vince, J., & Gaidioz, P. (2009). Design-based research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275–2314.
- Vince, J., & Tiberghien, A. (2000). Simuler pour modéliser. Le cas du son. *Sciences et Techniques Educatives*, 7(2), 333-366.
- Vygotski, L. S. (1997). *Pensée et langage* (3ème éd.). La Dispute.
- White, B. (1993). Thinker tools: Causal models, conceptual change, and science education. *Cognition and Instruction*, 10, 1-100.
- Wiser, M., & Smith, C. L. (2008). Learning and teaching about matter in grades K-8: When should the atomic-molecular theory be introduced. In S. Vosniadou (Éd.), *International handbook of research on conceptual change* (p. 205-239). New york: Routledge.
- Zembylas, M. (2005). Three perspectives on linking the cognitive and the emotional in science learning: Conceptual change, socio-constructivism and poststructuralism. *Studies in Science Education*, 41, 91-116.